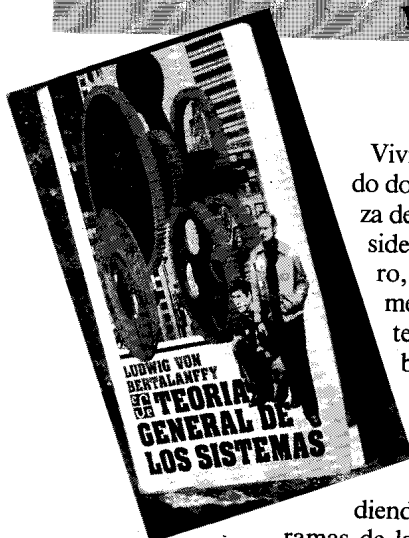


LA TEORÍA GENERAL DE LOS SISTEMAS Y LAS CIENCIAS DE LA TIERRA

Francisco Anguita



Vivimos en un mundo donde la Ciencia goza de una elevada consideración social; pero, igual que en el medioevo la Filosofía tenía que estar subordinada a la Teología, en la sociedad moderna se ha venido sobreentendiendo que todas las

ramas de la Ciencia debían estar subordinadas a la Física. En 1968, un biólogo austriaco, Ludwig von Bertalanffy (en adelante vB), se rebeló contra este estado de cosas, reclamando para su ciencia un status de igualdad. En realidad, vB atacó no sólo la situación de privilegio de la Física, sino todo el método de razonamiento que se había generalizado en la ciencia moderna: el reduccionismo, según el cual un elemento de la Naturaleza (fuese éste un orógeno o una bacteria) se *comprendía* si su estudio se podía reducir a un conjunto de leyes físicas. Este enfoque obligaba a despiezar los elementos a estudiar en sus componentes menores, hasta llegar a un nivel físico o físico-químico: los programas de Biología cuya primera lección es la célula y su bioquímica, y los programas de Geología cuya primera lección es el cristal y su físico-química (o, en su defecto, su geometría) están diseñados desde un punto de vista reduccionista.

La filosofía del reduccionismo es simplista: entendamos la química celular y comprenderemos la biosfera. O: entendamos la materia cristalina y sus transferencias energéticas, y tendremos la clave de la litosfera. Que esas promesas son falsas es hoy demasiado evidente: los ecosistemas o las placas litosféricas poseen una dinámica compleja que no se deja reducir a esquemas simples. La epistemología preferida por vB, el holismo, enuncia que el todo es más que las partes, y que por tanto la comprensión del todo no se puede conseguir a base de sumar estudios parciales.

Pero ¿qué es el todo? vB llamó **sistemas** a los conjuntos compuestos de elementos que interactúan. Cada sistema sería un todo, cuyos elementos serían subsistemas. Así, el Sistema Solar, compuesto por subsistemas (los planetas), integrados a su vez por subsistemas (núcleo, astenosfera, litosfera, atmósfera, ...). No podemos comprender la dinámica litosférica sin comprender la del interior terrestre, pero tampoco sin ideas claras sobre los otros planetas, ya que la Tierra es *sólo* un subsistema. Los problemas ecológicos son problemas de interrelaciones entre *eco-sistemas* y otros sistemas terrestres, como la atmósfera y la hidrosfera. A lo que aspira

vB es a comprender estas interacciones buscando, en cada rama de la Ciencia, leyes *isomorfas* (equivalentes) que expresen la unidad estructural del mundo. La mayor novedad de este enfoque es que incluye no sólo las Ciencias de la Naturaleza, sino también las Sociales (Historia, Sociología) y del comportamiento (Psicología).

Como era de esperar dada su condición de especialidades minoritarias, las Ciencias de la Tierra apenas son mencionadas por vB: tan sólo una fugaz referencia a la aplicación de la Teoría de Sistemas a la Geomorfología y a la Meteorología, y una definición de la Geología como un «campo histórico en el que es básico el principio de la *actualidad*» (sic). Al cabo de 25 años del manifiesto de vB, y dado la enorme influencia de la Teoría de los Sistemas en la sociedad actual, es bueno que nos preguntemos por el partido que puede sacarse a esta nueva visión del mundo en el campo de las Geociencias. La manera más sencilla de hacerlo es buscar en las Ciencias de la Tierra ejemplos de los sistemas interactuantes que describe vB. Así, las figuras 3.3 y 3.4 del tratado básico de vB (Fig. 1) representan respectivamente curvas exponenciales y una curva logística. Las curvas exponenciales positiva y negativa describen, por ejemplo, el crecimiento ilimitado de una población en la que la natalidad supera a la

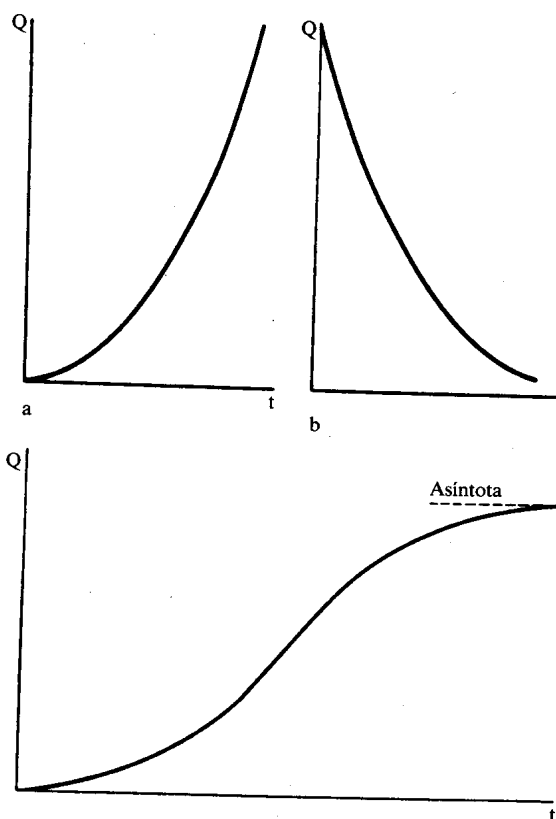


Fig. 1

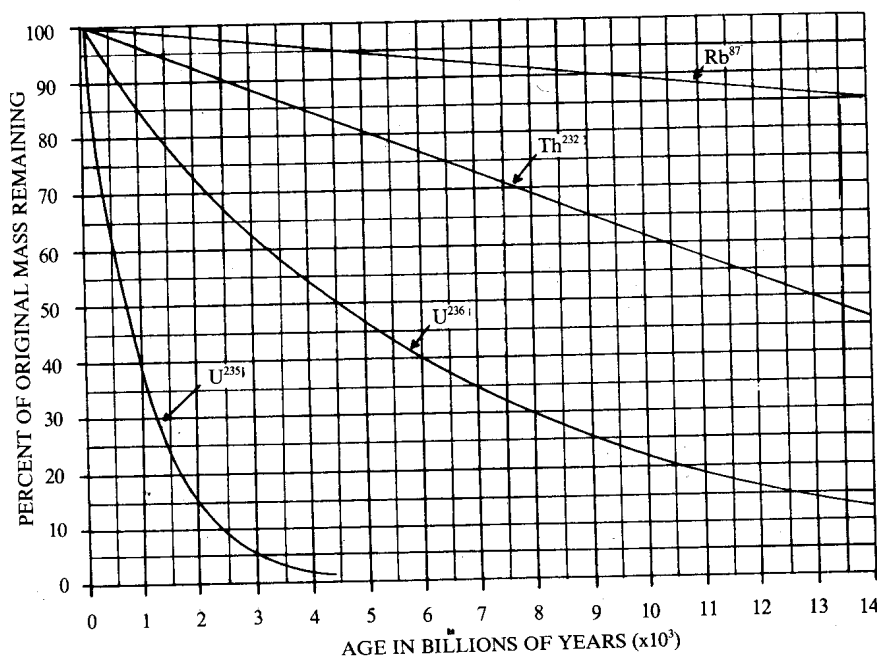
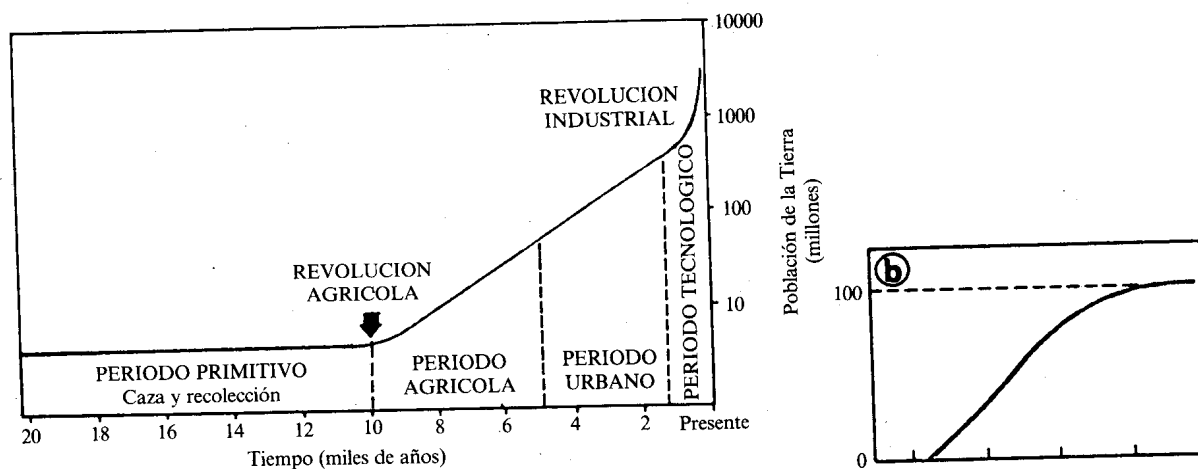


Fig. 2

mortalidad, o viceversa; la curva logística es la de una reacción en la que el producto formado acelera la propia producción hasta el agotamiento de la materia prima. ¿Y en Ciencias de la Tierra? No es difícil buscar ejemplos, y éstos se ilustran en la figura 2: el crecimiento exponencial de la población de *Homo sapiens*, marcado por las revoluciones tecnológicas, que es un tema básico en demografía pero también en Ciencias Medioambientales (Fig. 2a); el decrecimiento exponencial de poblaciones de núcleos radiactivos, de las que obtenemos la edad de los minerales y rocas (Fig. 2b); y la curva sigmoide de crecimiento de la corteza continental (Fig. 2c), que es una perfecta curva logística que delata aparentemente el decrecimiento de material ligero en el manto terrestre. Los tres ejemplos, aunque heterogéneos en su procedencia, comparten la característica de describir el comportamiento de sistemas que interaccionan con otros: el resto de la biosfera, los

núcleos radiogénicos, y el manto empobrecido en elementos corticales.

Este último ejemplo permite enlazar con un tema muy querido a vB: la homeostasis o retroalimentación, una cualidad típica de los sistemas abiertos, como son los seres vivos. ¿Puede la Tierra exhibir propiedades homeostáticas? Quizá sí, puesto que el manto terrestre ha sido asimilado a un termostato (*), al igual que la atmósfera, que a través de un efecto invernadero ha mantenido una homeostasis térmica a lo largo de más de 4.000 millones de

(*) Ya que una elevación de su temperatura acarrearía un descenso de su viscosidad, un aumento del flujo convectivo, y por ello un episodio de creación masiva de litosfera en las dorsales; pero el calor perdido traería como consecuencia un aumento de la viscosidad, ralentización del flujo, y con esto un descenso en el ritmo de creación de litosfera.

años, permitiendo que la Tierra albergue vida de forma continua.

La mención de la Geología en la Teoría de Sistemas como un campo histórico permite otro tipo de reflexiones. Von Bertalanffy cita la tendencia histórica de la ciencia occidental, en la que es central la noción de tiempo: quizá la mayor construcción teórica de la ciencia moderna sea la reconstrucción de la historia del Universo, dentro de la que se insertan la historia de la Tierra, la evolución de la Biosfera y la historia del Hombre. La opinión de los historiadores ortodoxos es que, a diferencia de la ciencia, la historia no es sometible a leyes porque se compone de acontecimientos únicos, en tanto que las leyes científicas están basadas en la repetición de sucesos. Sin embargo, otros historiadores, de Hegel a Toynbee, han buscado regularidades en el proceso histórico. vB sostiene que si han podido hallarlas es porque los modernos enfoques históricos están ba-

sados más o menos conscientemente en la Teoría de Sistemas: los sujetos de las historias, sean grupos de galaxias, continentes, ecosistemas o civilizaciones, son sistemas, y como tales interaccionarán según pautas que exhibirán regularidades. La teoría del Ciclo del Supercontinente (ver Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, número cero) es evidentemente un intento de buscar en la historia de la litosfera una regularidad que, quizá no casualmente, adopta estructura cíclica. Esta regularidad, que podría ser el embrión de una *ley de la litosfera*, es una extrapolación en el tiempo del Ciclo de Wilson, llamado así por el gran científico canadiense cuya obra se glosa en otras páginas de este mismo número.

En conclusión, y retomando ahora en conjunto los aspectos históricos y no históricos, podemos intentar (Tabla I) un esquema comparativo de jerarquías de sistemas en cuatro ámbitos distintos: el Universo, la Tierra, la Biosfera y las civilizaciones:

TABLA I				
JERARQUÍAS DE SISTEMAS				
	El Universo	La Tierra	La Biosfera	Las civilizaciones
Estructuras estáticas	Núcleos atómicos	Átomos, cristales, rocas	Aminoácidos, proteínas	Territorios
Máquinas (sistemas transformadores)	Estrellas	Sistema mesosfera-astenosfera-litosfera Sistema atmósfera-hidrosfera	Órganos	Sistemas socioculturales
Mecanismos de control	Reacciones nucleares Potencial gravitatorio	Los mantos planetarios como termostatos	Metabolismo	Económicos (Marx) Estímulos-Respuestas (Toynbee) etc...
Evolución	Universo oscilatorio (Big Bang-Big Crunch)	Ciclo del supercontinente	Radiaciones evolutivas - extinciones masivas	Desarrollo de las civilizaciones

¿Es la Teoría General de los Sistemas, como algunos han dicho, una revolución científica? Es, desde luego, una nueva forma de ver la realidad y, hablando en términos de gestión, de intervenir en ella más racionalmente. Este cambio del sistema de referencia debería tener, según von Bertalanffy, repercusiones en el sistema docente. La posibilidad de estudiar sistemas diversos de una forma comparativa, y de relacionarlos entre sí, requiere decididamente una formación científica más universal y más unificada: en un mundo donde el crecimiento exponencial de los conocimientos parece requerir cada

vez más microespecialistas, sucede, paradójicamente que los generalistas son cada vez más necesarios. En los grupos interdisciplinares, el generalista debería encargarse de los problemas de sistemas, donde están las interconexiones clave que nos permiten prever las tantas veces imprevistas consecuencias indeseadas. Ahora interroguemos a nuestro sistema educativo y comprobemos hasta qué punto no está siguiendo, al menos en el nivel universitario, un camino opuesto al que aconseja una de las más interesantes epistemologías del siglo XX. ■